

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

REC'D 06 SEP 2004

WIPO

PCT

Aktenzeichen:

103 36 171.5

Anmeldetag:

7. August 2003

Anmelder/Inhaber:

Technische Universität Braunschweig Carolo-
Wilhelmina, 38106 Braunschweig/DE

Bezeichnung:

Multichip-Schaltungsmodul und Verfahren zur
Herstellung hierzu

IPC:

H 01 L 25/07

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 27. August 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag



Zusammenfassung

- Bei einem Multichip-Schaltungsmodul mit einer Hauptplatine (9) mindestens einem auf der Hauptplatine (9) montieren und mit der Hauptplatine (9) elektrisch kontaktierten Trägersubstrat (1) und mindestens einem Halbleiterchip (5) auf dem Trägersubstrat (1), der mit dem Trägersubstrat (1) elektrisch kontaktiert ist, hat
- das Trägersubstrat (1) mindestens eine Kavität (4) an einer Montageoberfläche (3) zur Aufnahme mindestens eines Halbleiterchips (5),
 - wobei in der Kavität (4) Anschlusskontakte (6) für zugeordnete Bumps (7) des Halbleiterchips (5) vorgesehen sind,
 - 15 - der mindestens eine Halbleiterchip (5) in Flip-Chip-Technik mit den Bumps (7) an den Anschlusskontakten (6) montiert ist, und
 - die Montageoberfläche (3) des Trägersubstrates (1) auf eine Kontaktoberfläche (10) der Hauptplatine (9) aufgebracht ist, und
 - ein Füllmaterial (11) zwischen der Kontaktoberfläche (10) der Hauptplatine (9) und der Montageoberfläche (3) des Trägersubstrates (1) vorgesehen ist.

25 Bezug zur Figur. 3

JG/mr

GRAMM, LINS & PARTNER

Patent- und Rechtsanwaltssozietät

Gesellschaft bürgerlichen Rechts

GRAMM, LINS & PARTNER GbR, Theodor-Heuss-Str. 1, D-38122 Braunschweig

Technische Universität
Braunschweig Carol-Wilhelmina
Pockelsstraße 14

38106 Braunschweig

Braunschweig:

Patentanwalt Prof. Dipl.-Ing. Werner Gramm **
Patentanwalt Dipl.-Phys. Dr. jur. Edgar Lins **
Rechtsanwalt Hanns-Peter Schrammek ^u
Patentanwalt Dipl.-Ing. Thorsten Rehmann **
Rechtsanwalt Christian S. Drzymalla ^u
Patentanwalt Dipl.-Ing. Hans Joachim Gerstein**
Rechtsanwalt Dr. Stefan Risthaus
Patentanwalt Dipl.-Ing. Kai Stornebel ^o

Hannover:

Patentanwältin Dipl.-Chem. Dr. Martina Läufer **

★ European Patent Attorney
^o European Trademark Attorney
^u zugelassen beim LG u. OLG Braunschweig

Ihr Zeichen/Your ref.:

Unser Zeichen/Our ref.:
3022-008 DE-1

Datum/Date
6. August 2003

Multichip-Schaltungsmodul und Verfahren zur Herstellung hierzu

Die Erfindung betrifft ein Multichip-Schaltungsmodul mit einer Hauptplatine,
mindestens einem auf der Hauptplatine montierten und mit der Hauptplatine
5 elektrisch kontaktierten Trägersubstrat und mindestens einem Halbleiterchip auf
dem Trägersubstrat, der mit dem Trägersubstrat elektrisch kontaktiert ist.

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Herstellung derartiger Multi-
chip-Schaltungsmodule.

Multichip-Schaltungsmodule sind hinreichend beispielsweise aus der
DE 100 11 005 A1 und der DE 100 41 770 A1 bekannt. Vor allem Hochfre-
quenzschaltungen im Frequenzbereich bis 100 GHz werden in Form derartiger
Multichip-Schaltungsmodule realisiert. Die Multichip-Schaltungsmodule bestehen
15 hierbei aus einem Trägersubstrat, auf dem in Drahtbond- oder Flip-Chip-
Technologie einzelne Halbleiterchips montiert werden. Geeignete Halbleiterchips
können beispielsweise Millimeter Wave Monolithic Integrated Circuits MMIC
sein. Das Trägersubstrat kann weiterhin passive Schaltungskomponenten, bei-

Antwort bitte nach / please reply to:

Hannover:

Freundallee 13
D-30173 Hannover
Bundesrepublik Deutschland
Telefon 0511 / 988 75 07
Telefax 0511 / 988 75 09

Braunschweig:

Theodor-Heuss-Straße 1
D-38122 Braunschweig
Bundesrepublik Deutschland
Telefon 0531 / 28 14-0 - 0
Telefax 0531 / 28 14-0 - 28

spielsweise auf der Oberfläche oder in tieferen Ebenen des Trägersubstrates haben. Für den Hochfrequenzeinsatz kann das Trägersubstrat beispielsweise eine Mehrlagenkeramik sein, wie z. B. Low Temperature Cofired Ceramics LTCC.

- 5 Die Trägersubstrate mit den passiven und aktiven Schaltungskomponenten bilden wiederum Submodule, die auf einem weiteren Substrat, der Hauptplatine, zusammengefasst werden. Die Submodule sind elektrisch mit der Hauptplatine und somit auch untereinander kontaktiert.

Zur Kontaktierung der Trägersubstrate mit der Hauptplatine ist beispielsweise die Ball-Grid-Array BGA-Verbindungstechnik aus der DE 199 31 004 A1 bekannt.

- Das Multichip-Schaltungsmodul wird anschließend mit dielektrischen Füllmaterialien verkapselt, wie in der DE 101 16 510 A1 offenbart ist, oder mit einem Metallgehäuse abgeschirmt, wie in der DE 100 59 688 A1 beschrieben ist.

In der EP 0 900 477 B1 ist ein elektronisches Bauelement mit Oberflächenwellenfiltern beschrieben, bei dem ein Trägersubstrat in Flip-Chip-Technik auf einer Hauptplatine montiert ist. Auf die dem Verbindungsbereich zwischen Trägersubstrat und Hauptplatine abgewandte Seite des Trägersubstrates bis hin zur Hauptplatine ist eine metallische Schutzschicht direkt aufgebracht, so dass ein dichter Verschluss zur Hauptplatine hin besteht.

- Die Flip-Chip-Technik zur elektrischen Kontaktierung von Halbleiterchips auf ein Trägersubstrat bzw. eines Trägersubstrates auf eine Hauptplatine mit Hilfe von Bumps, die mit Anschlusskontakten verbunden werden, ist beispielsweise in der DE 100 41 695 A1, der DE 100 43 450 A1 und der DE 100 29 255 A1 beschrieben.

Zur Abschirmung der Multichip-Schaltungsmodule sind nachteilig zusätzliche Arbeitsschritte erforderlich.

Aufgabe der Erfindung ist daher, ein verbessertes Multichip-Schaltungsmodul mit
5 einem kostengünstigeren und gleichzeitig höher integrierten, kompakteren Aufbau zu schaffen.

Die Aufgabe der Erfindung ist es weiterhin, ein verbessertes Verfahren zur Herstellung eines solchen Multichip-Schaltungsmoduls zu schaffen.

Die Aufgabe wird mit dem gattungsgemäßen Multichip-Schaltungsmodul erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass

- 15 - das Trägersubstrat mindestens eine Kavität an einer Montageoberfläche zur Aufnahme mindestens eines Halbleiterchips hat,
- in der Kavität Anschlusskontakte für zugeordnete Bumps des Halbleiterchips vorgesehen sind,
- der mindestens eine Halbleiterchip in Flip-Chip-Technik mit den Bumps an den Anschlusskontakten montiert ist, und
- die Montageoberfläche des Trägersubstrates auf eine Kontaktoberfläche der Hauptplatine aufgebracht ist, wobei ein Füllmaterial zwischen der Kontaktoberfläche der Hauptplatine und der Montageoberfläche des Trägersubstrates vorgesehen ist.
25

Durch die Aufnahme der Halbleiterchips in Aussparungen, sogenannte Kavitäten, an der Montageoberfläche des Trägersubstrates kann die Montageoberfläche
30 unmittelbar mit der Kontaktoberfläche der Hauptplatine verklebt werden. Dies

hat eine verbesserte thermische Wärmeabfuhr direkt über die Hauptplatine zur Folge. Zudem führt das Füllmaterial zwischen der Kontaktoberfläche der Hauptplatine und der Montageoberfläche des Trägersubstrates zu einer verbesserten Kapselung ohne Beeinflussung der Charakteristik des Halbleiterchips. Dadurch, dass die Verbindungen der ersten und zweiten Ebene (1st und 2nd Level Interconnect) in eine Ebene gelegt sind, wird gleichzeitig eine verbesserte Wärmeableitung, Kapselung der Anordnung und mehr Freiraum für eine weitere passive Integration bspw. für vertikale Leitungsführung, vergrabene passive Komponenten oder planare Antennenelemente geboten.

Die Aufgabe wird mit dem gattungsgemäßen Verfahren weiterhin erfindungsgemäß gelöst durch die Schritte:

- a) Einlassen des mindestens einen Halbleiterchips in für die Halbleiterchips an einer Montageoberfläche des Trägersubstrates vorgesehene Kavitäten;
- b) Montieren des mindestens einen Halbleiterchips in Flip-Chip-Technik durch Kontaktierung von auf Anschlusskontakten in den Kavitäten aufliegenden Bumps der Halbleiterchips;
- c) Auftragen einer Füllmaterialschicht auf die Kontaktoberfläche der Hauptplatine; und
- d) Aufbringen des Trägersubstrates mit der Montageoberfläche auf die Kontaktoberfläche der Hauptplatine.

Im Vergleich zu den herkömmlichen Herstellungsverfahren von Multichip-Schaltungsmodulen ist die Anzahl der Arbeitsschritte bei der Aufbau- und Verbindungstechnik unter Anwendung von Standardtechnologien reduziert. Das

Multichip-Schaltungsmodul lässt sich damit relativ preiswert herstellen und hat aufgrund der Kavitäten einen höher integrierten, kompakteren Aufbau.

Das Füllmaterial ist vorzugsweise ein anisotrop leitendes Material, wie beispielsweise eine anisotrop leitende Paste oder ein anisotrop leitender Film. Damit wird nicht nur eine Verkapselung und Abschirmung des Multichip-Schaltungsmoduls realisiert. Vielmehr werden im gleichen Arbeitsschritt zusätzlich alle Verbindungen zwischen dem Trägersubstrat und der Hauptplatine geschlossen. Durch den anisotropen Charakter des Füllmaterials ist eine Isolation benachbarter Leitungen gewährleistet.

Das Füllmaterial leitet dabei in Richtung der Auftragshöhe, d. h. in Richtung von der Hauptplatine zum Trägersubstrat. In der Fläche hingegen ist das anisotrope Füllmaterial isolierend.

15

Das Füllmaterial soll die Zwischenräume der Kavitäten nicht vollständig ausfüllen, um eine Benetzung der Oberfläche des Halbleiterchips und der Bumps mit Füllmaterial zu verhindern, so dass eine Veränderung der elektrischen Eigenschaften möglichst vermieden wird.

Das Trägersubstrat ist vorzugsweise mehrlagig mit sich quer durch mehrere Lagen erstreckende Verbindungsleitungen. Die mehrlagige Strukturierung des Trägersubstrates wird somit vorzugsweise ausschließlich zur passiven Integration des Multichip-Schaltungsmoduls beispielsweise für Leitungsführungen, Filter und Biasnetzwerke genutzt.

25

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 - Skizze eines Trägersubstrates mit Halbleiterchips in Querschnittsansicht;

Figur 2- Skizze des zum Aufsetzen auf eine Hauptplatine um 180° gedrehten Trägersubstrates mit elektrisch kontaktierten Halbleiterchips in Querschnittsansicht;

Figur 3 - Skizze eines Multichip-Schaltungsmoduls mit auf die Hauptplatine aufgesetztem Trägersubstrat in Querschnittsansicht.

Die Figur 1 lässt eine Skizze eines mehrschichtigen Trägersubstrates 1 erkennen, das eine Vielzahl von Leiterbahnen 2 hat. An einer Montageoberfläche 3 des Trägersubstrates 1 sind Kavitäten 4 in Form von rechteckigen Aussparungen vorgesehen, in die Halbleiterchips 5 eingesetzt werden können. In den Kavitäten 4 sind entsprechend Anschlusskontakte 6 für Bumps 7 an der Unterseite der Halbleiterchips 5 vorgesehen. Mit Hilfe der Bumps 7 und der Anschlusskontakte 6 können die Halbleiterchips 5 in den Kavitäten 4 mit der bekannten Flip-Chip-Technik elektrisch kontaktiert werden. Als kostengünstige Realisierung mehrschichtiger Trägersubstrate 1 bietet sich insbesondere im Zusammenhang mit der Herstellung von Kavitäten 4 die LTCC-Technologie (Low Temperature Co-fired Ceramics) an.

An der Unterseite des Trägersubstrates 1, die der Montageoberfläche 3 gegenüber liegt, ist eine planare Antennenanordnung 8, z. B. eine Patch-Antenne vorgesehen. Eine solche Konstruktion ist nunmehr möglich, da das Trägersubstrat 1 mit der Montageoberfläche 3 auf eine Hauptplatine montiert werden kann.

Bei den vertikalen Leiterbahnen 2 handelt es sich um sich quer durch mehrere Lagen des Trägersubstrates 1 erstreckende Verbindungsleitungen für HF- und DC-Signale. Die Leiterbahnen 2 können bspw. aus mindestens einem Leiter und ggf. mindestens einer zusätzlichen abschirmenden Durchführung bestehen. Die vertikale Leitungsführung kann auch in Hohlleitertechnik ausgeführt werden, wobei die vertikalen Durchkontaktierungen die leitenden Wände eines Hohlleiters bilden.

Die Figur 2 lässt den Verfahrensschritt des Zusammenfügens des Trägersubstrates 1, das um 180° in Bezug auf das in der Figur 1 dargestellte Trägersubstrat 1 gedreht ist, auf eine Hauptplatine 9 erkennen.

Auf der Kontaktoberfläche 10 der Hauptplatine 9 ist ein Füllmaterial 11 in Form eines anisotrop leitenden Films, einer anisotrop leitenden Paste oder einer isotrop leitenden Klebeschicht aufgetragen.

Das Trägersubstrat 1 wird nunmehr mit der Montageoberfläche 3 auf die Kontaktoberfläche 10 mit dem Füllmaterial 11 gepresst. Dabei sind die Halbleiterchips 5 in Flip-Chip-Technik bereits elektrisch mit dem Trägersubstrat 1 kontaktiert. Die Leiterbahnen 2 zur elektrischen Kontaktierung der Halbleiterchips sind durch das mehrschichtige Trägersubstrat 1 an die Montageoberfläche 3 geführt und werden mit entsprechenden Leiterbahnen 12 in der Hauptplatine 9 elektrisch verbunden, wenn das Trägersubstrat 1 mit der Hauptplatine 9 durch das Füllmaterial 11 verklebt ist.

25

Die Figur 3 lässt ein entsprechendes fertiges Multichip-Schaltungsmodul mit Trägersubstrat 1 und Hauptplatine 9 im zusammengefügt Zustand erkennen. Durch den Einsatz von anisotrop leitendem Füllmaterial 11, das in Richtung der Schichtdicke des Füllmaterials 11, d. h. in Richtung von Trägersubstrats 1 zur Hauptplatine 9 leitend und in Richtung der Fläche des Füllmaterials 11 isolierend.

30

ist, wird automatisch eine elektrische Verbindung der Leiterbahnen 2 und 12 hergestellt. Bei isotrop leitendem Füllmaterial werden Leiterbahnen 2, 12 an der Montageoberfläche 3 kurzgeschlossen, so dass keine Leitungsführung an der Montageoberfläche 3 vorgesehen werden sollte. Kapselung und Wärmeableitung ist jedoch nach wie vor gegeben.

Durch die im Vergleich zu herkömmlichen Multichip-Schaltungsmodulen umgekehrte Befestigungsweise des Trägersubstrates 1 auf die Hauptplatine 9 mit der die Halbleiterchips 5 beinhaltenden Montageoberfläche 3 wird in einem Arbeitsschritt eine Verkapselung erreicht, die die Hochfrequenzeigenschaft des Multichip-Schaltungsmoduls jedoch nicht beeinflusst. Zudem wird die in den Halbleiterchips 5 erzeugte Verlustwärme unmittelbar an die Hauptplatine 9 abgeführt, so dass zusätzliche platzraubende Durchkontaktierungen zur Abfuhr von Verlustwärme nicht erforderlich sind.

Durch Auswahl der Schichtdicke des Füllmaterials 11 derart, dass beim Absetzen des Trägersubstrates 1 mit Standard-Positioniergeräten ein komplettes Füllen der Zwischenräume der Kavitäten 4 vermieden wird, kann eine Versiegelung der Halbleiterchips erreicht werden, ohne dass die Chip-Oberfläche mit Bumps 7 und Füllmaterial 11 benetzt werden. Nach dem abschließenden Aushärten des Füllmaterials 11 wird eine dauerhafte störungsfreie Verkapselung und Abschirmung sichergestellt.

Die Hauptplatine 9 kann je nach Auswahl des Füllmaterials 11 und der gewünschten Anwendung ein ein- oder mehrlagiges Substratmaterial oder eine Metallplatte sein.

Wenn lediglich eine störungsfreie Kapselung und eine gute thermische Abfuhr erzielt werden soll, bietet sich eine Metallplatte an. Für komplexere Anordnungen

kann die Hauptplatine 9 ebenfalls eine beliebige Kombination aus mehrlagigem Substrat und ggf. strukturierter Metallplatte sein.

- 5 Durch Herstellung des Multichip-Schaltungsmoduls in einer geeigneten Atmosphäre kann in den Kavitäten 4 nicht nur Luft, sondern ein beliebiges (Schutz-) Gas eingeschlossen werden.

GRAMM, LINS & PARTNER

Patent- und Rechtsanwaltssozietät
Gesellschaft bürgerlichen Rechts

GRAMM, LINS & PARTNER GbR, Theodor-Heuss-Str. 1, D-38122 Braunschweig

Technische Universität
Braunschweig Carolo-Wilhelmina
Pockelsstraße 14

38106 Braunschweig

Braunschweig:

Patentanwalt Prof. Dipl.-Ing. Werner Gramm *
Patentanwalt Dipl.-Phys. Dr. jur. Edgar Lins *
Rechtsanwalt Hanns-Peter Schrammek [□]
Patentanwalt Dipl.-Ing. Thorsten Rehmann *
Rechtsanwalt Christian S. Drzymalla [□]
Patentanwalt Dipl.-Ing. Hans Joachim Gerstein *
Rechtsanwalt Dr. Stefan Risthaus
Patentanwalt Dipl.-Ing. Kai Stornebel [□]

Hannover:

Patentwältin Dipl.-Chem. Dr. Martina Läufer *

* European Patent Attorney
□ European Trademark Attorney
□ zugelassen beim LG u. OLG Braunschweig

Ihr Zeichen/Your ref.:

Unser Zeichen/Our ref.:

Datum/Date

3022-008 DE-1

6. August 2003

Patentansprüche

1. Multichip-Schaltungsmodul mit einer Hauptplatine (9), mindestens einem
auf der Hauptplatine (9) montierten und mit der Hauptplatine (9) elektrisch
5 kontaktierten Trägersubstrat (1), und mit mindestens einem Halbleiterchip
(5) auf dem Trägersubstrat (1), der mit dem Trägersubstrat (1) elektrisch
kontaktiert ist, dadurch gekennzeichnet, dass

- das Trägersubstrat (1) mindestens eine Kavität (4) an einer Monta-
geoberfläche zur Aufnahme mindestens eines Halbleiterchips (5)
hat,
- in der Kavität (4) Anschlusskontakte (6) für zugeordnete Bumps (7)
des Halbleiterchips (5) vorgesehen sind,
- 15 - der mindestens eine Halbleiterchip (5) in Flip-Chip-Technik mit den
Bumps (7) an den Anschlusskontakten (6) montiert ist, und

Antwort bitte nach / please reply to:

Hannover:

Freundallee 13
D-30173 Hannover
Bundesrepublik Deutschland
Telefon 0511 / 988 75 07
Telefax 0511 / 988 75 09

Braunschweig:

Theodor-Heuss-Straße 1
D-38122 Braunschweig
Bundesrepublik Deutschland
Telefon 0531 / 28 14 0 - 0
Telefax 0531 / 28 14 0 - 28

- die Montageoberfläche (3) des Trägersubstrates (1) auf eine Kontaktoberfläche (10) der Hauptplatine (9) aufgebracht ist, wobei ein Füllmaterial (11) zwischen der Kontaktoberfläche (10) der Hauptplatine (9) und der Montageoberfläche (3) des Trägersubstrates (1) vorgesehen ist.

2. Multichip-Schaltungsmodul nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Füllmaterial (11) ein anisotrop leitendes Material, beispielsweise eine anisotrop leitende Paste oder ein anisotrop leitender Film ist.

3. Multichip-Schaltungsmodul nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Füllmaterial (11) die Zwischenräume der Kavitäten (4) nicht vollständig ausfüllt.

15 4. Multichip-Schaltungsmodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Trägersubstrat (1) mehrlagig mit sich quer durch mehrere Lagen erstreckende Leiterbahnen (2) ist.

5. Multichip-Schaltungsmodul nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass Leiterbahnen (2) des Trägersubstrates (1) an die Montageoberfläche (3) geführt und mit Leiterbahnen (12) der Hauptplatine (9) elektrisch verbunden sind.

25 6. Multichip-Schaltungsmodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine planare Antennenanordnung (8) auf der Unterseite des Trägersubstrates (1), die der Montageoberfläche (3) gegenüberliegt.

7. Multichip-Schaltungsmodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Trägersubstrat (1) eine Mehrlagenkeramik, insbesondere eine Low Temperature Co-fired Ceramic (LTCC) ist.

5 8. Verfahren zur Herstellung von Multichip-Schaltungsmodulen nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit den Schritten:

- a) Einlassen des mindestens einen Halbleiterchips (5) in für die Halbleiterchips (3) an einer Montageoberfläche (3) des Trägersubstrates (1) vorgesehene Kavitäten (4);
- b) Montieren des mindestens einen Halbleiterchips (5) in Flip-Chip-Technik durch Kontaktierung von auf Anschlusskontakten (6) in den Kavitäten (4) aufliegenden Bumps (7) der Halbleiterchips (5);
- c) Auftragen einer Füllmaterialschicht (11) auf die Kontaktoberfläche (10) der Hauptplatine (9); und
- d) Aufbringen des Trägersubstrates (1) mit der Montageoberfläche (3) auf die Kontaktoberfläche (10) der Hauptplatine (9).

15 9. Verfahren nach Anspruch 8 gekennzeichnet durch Auftragen eines anisotrop leitenden Füllmaterials (11), insbesondere einer Paste oder eines Films, als Füllmaterial (11) auf die Kontaktoberfläche.

25 10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, gekennzeichnet durch Auftragen der Füllmaterialschicht (11) in einer derart angepassten Schichtstärke, dass Zwischenräume der Kavitäten (4) mit dem Füllmaterial (11) nicht vollständig ausgefüllt werden.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, gekennzeichnet durch elektrisches Verbinden von sich quer durch mehrere Lagen des Trägersubstrates (1) erstreckende Leiterbahnen (2), die an die Montageoberfläche (3) geführt sind, mit Leiterbahnen (12) der Hauptplatine (9).

5

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, gekennzeichnet durch Herstellung in einer Gasatmosphäre zum Einschließen von Gas in die Kavitäten (4).

G/mr

